

## Введение

Scilab с 1994 года распространяется бесплатно вместе с исходным кодом через Интернет. В 2003 году для поддержки Scilab был создан консорциум Scilab Consortium. Сейчас в него входят 25 участников, в том числе Mandriva, INRIA и ENPC (Франция). Официальный сайт: <https://www.scilab.org/>. Интерфейс представлен русским и английским языками.

Scilab — это система компьютерной математики, которая предназначена для выполнения инженерных и научных вычислений, таких как:

- решение нелинейных уравнений и систем;
- решение задач линейной алгебры;
- решение задач оптимизации;
- дифференцирование и интегрирование;
- обработка экспериментальных данных (интерполяция и аппроксимация, метод наименьших квадратов);
- решение обыкновенных дифференциальных уравнений и систем.

Кроме того, Scilab предоставляет широкие возможности по созданию и редактированию различных видов графиков и поверхностей. Несмотря на то, что система Scilab содержит достаточное количество встроенных команд, операторов и функций, отличительная ее черта — это гибкость. Пользователь может создать любую новую команду или функцию, а затем использовать ее наравне со встроенными. К тому же, система имеет достаточно мощный собственный язык программирования высокого уровня, что говорит о возможности решения новых задач.[1]. Также Scilab преобразовывает модели из MATLAB, в то время как обратное преобразование невозможно. Кроме того, существует инструмент для автоматического преобразования исходного кода Matlab в исходный код Scilab, он называется M2SCI. Скрипт анализирует исходный код Matlab и заменяет специфичные для Matlab функции на Scilab.

Инструмент визуального моделирования Xcos служит для создания структурных схем математических моделей, и выполнения соответствующих действий над ними. Для вызова необходимо набрать xcos в командной строке или кликнуть иконку на панели инструментов в главном окне. Откроется два окна: палитры блоков и рабочее пространство. В качестве примера построим модель двигателя постоянного тока, представив его как систему второго порядка. Каждый блок находится в своей палитре. Для начала найдем в палитре Системы с непрерывным временем интегратор, блок называется Integral. Далее понадобятся статическое звено и сумматор, блоки Gainblk и

Bigson в палитре Математические операции. Каждый блок может быть перемещен мышью в поле диаграммы.[2]

## РАБОТА 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОКОНТУРНОЙ САР. ЗАДАЧИ РЕГУЛИРОВАНИЯ. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЕК. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Цель работы:

- моделирование одноконтурной САР и изучение влияния параметров настройки регуляторов на качество переходных процессов.

Задачи работы:

- составить блок-схему одноконтурной САР с пропорционально-интегральным (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) законами регулирования;

- рассчитать параметры настроек ПИ- и ПИД-регуляторов по эмпирическим соотношениям Циглера и Никольса по настройке промышленных регуляторов с использованием переходной характеристики объекта регулирования, полученной в работе 1;

- с использованием программной среды MATLAB/Simulink провести моделирование работы одноконтурной САР при ступенчатом изменении заданного значения регулируемой переменной;

- исследовать влияние на качество переходных процессов изменения параметров настроек ПИ- и ПИД-регуляторов.

## 3. Результаты выполнения

### 3.1. Интерфейс среды Xcos

Для построения блочной диаграммы используется графический редактор Xcos: *Главное меню* → *Инструменты* → *Визуальное моделирование Xcos* (рис. 1.1, рис. 1.2).

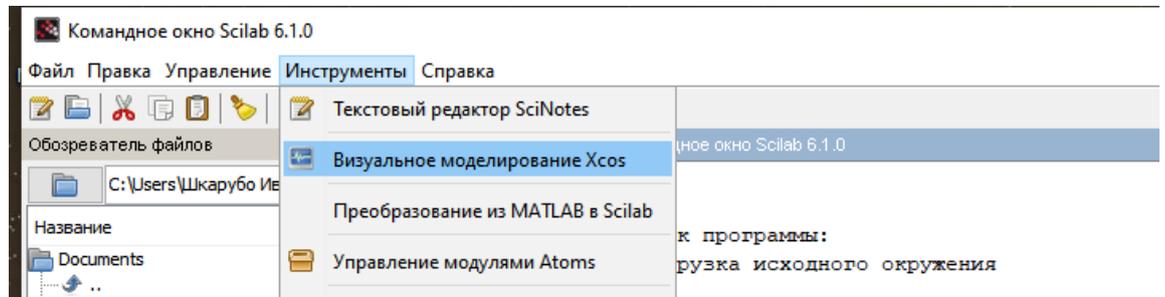
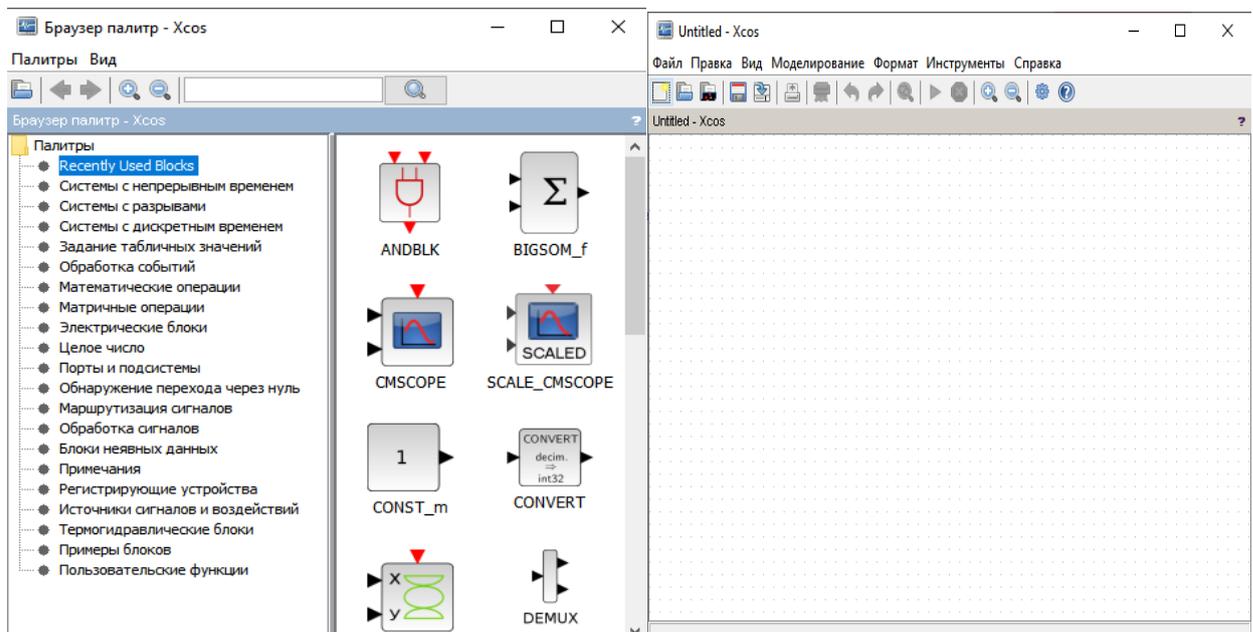


Рис. 1.1. Командное окно Scilab



(а) Палитры блоков

(б) Окно редактора

Рис. 1.2. Графический редактор Xcos

После запуска Xcos обычно отображаются два окна: окно Палитры блоков и окно графического редактора. Если окно Палитры блоков отсутствует, его необходимо отобразить, выбрав *Вид* → *Палитры блоков* в главном меню окна графического редактора Xcos.

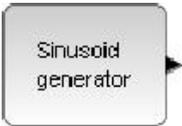
В окне Палитры блоков представлены группы блоков, из которых строится диаграмма Xcos. Выделив нужную группу левым кликом мыши (ЛКМ), вы увидите графические изображения входящих в неё блоков. Правый клик мыши (ПКМ) на изображении блока вызывает контекстное

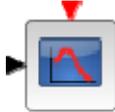
меню, через которое можно добавить выбранный блок к диаграмме или вызвать справку по данному блоку. Добавить выбранный блок к диаграмме можно также просто перетащив его мышью.

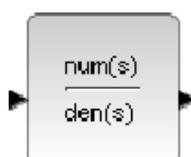
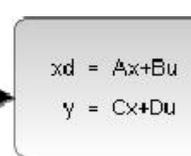
Перечень основных функциональных блоков представлен в виде таблицы 1.

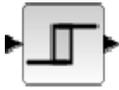
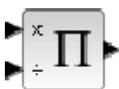
Таблица 1

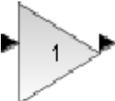
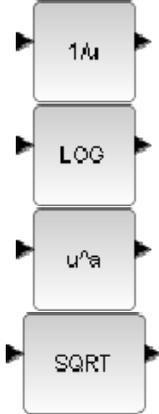
### Основные функциональные блоки

№ п/п	Графическое изображение блока	Название	Описание
<b>Источники сигналов и воздействий</b>			
1		CONST_m	Источник постоянного сигнала Задает постоянный по уровню сигнал
2		GENSIN_f	Источник синусоидального сигнала Формирует синусоидальный сигнал с заданной частотой, амплитудой, фазой и смещением
3		RAMP	Источник линейно изменяющегося воздействия Формирует линейный сигнал вида $y = \text{Slope} * \text{time} + \text{Initial value}$
4		STEP_FUNCTION	Генератор ступенчатого сигнала Формирует ступенчатый сигнал

№ п/п	Графическое изображение блока	Название		Описание
5		CLOCK_c	Управление модельным временем	Формирует сигнал управления модельным временем
<b>Регистрирующие устройства</b>				
6		CSCOPE	Осциллограф	Строит графики исследуемых сигналов в функции времени, позволяет наблюдать за изменениями сигналов в процессе моделирования
7		CSCOPEXY	Графопостроитель	Строит график одного сигнала в функции другого
<b>Системы с непрерывным временем</b>				
8		DERIV	Блок вычисления производной	Выполняет численное дифференцирование входного сигнала
9		LNTEGRAL_f	Интегрирующий блок	Выполняет интегрирование

№ п/п	Графическое изображение блока	Название		Описание
				входного сигнала
10		CLR	Блок передаточной функции	Блок передаточной характеристики задает передаточную функцию в виде отношения полиномов
11		CLSS	Блок модели динамического объекта	Блок создает динамический объект, описываемый уравнениями в пространстве состояний
12		PID	ПИД-регулятор	Блок, реализующий ПИД закон регулирования
<b>Системы с разрывами</b>				
13		BACKLASH	Блок люфта	Моделирует нелинейность типа “люфт”
14		DEADBAND	Блок с зоной нечувствительности	Реализует нелинейную зависимость типа

№ п/п	Графическое изображение блока	Название		Описание
				"зона нечувствительности (мертвая зона)"
15		HYSTERESIS	Блок гистерезисной характеристики (+Релейный блок)	Реализует гистерезисную, а также релейную нелинейность
16		SATURATION	Блок ограничения	Выполняет ограничение величины сигнала
<b>Математические операции</b>				
17		ABS_VALUE	Блок вычисления модуля	Выполняет вычисление абсолютного значения величины сигнала
18		BIGSOM_f	Блок вычисления суммы	Выполняет вычисление суммы текущих значений сигналов
19		PRODUCT	Блок умножения	Выполняет вычисление произведения текущих значений сигналов

№ п/п	Графическое изображение блока	Название		Описание
20		SIGNUM	Блок определения знака сигнала	Определяет знак входного сигнала
21		GAINBLK_f	Усилители	Выполняет умножение входного сигнала на постоянный коэффициент
22		INVBLK_f LOGBLK_f POWERBLK_f SQRT	Блоки вычисления математических функций	Выполняет вычисление математической функции
23		TrigFun	Блок вычисления тригонометрических функций	Выполняет вычисление тригонометрической функции
24		MAX_f MIN_f	Блоки определения минимального или максимального значения	Определяют максимальное или минимальное значение из всех сигналов, поступающих на его входы

№ п/п	Графическое изображение блока	Название		Описание
<b>Задание табличных значений</b>				
25		INTRPLBLK_f	Блок одномерной таблицы	Задаёт в табличной форме функцию одной переменной.
<b>Маршрутизация сигналов</b>				
26		MUX	Блок шинного формирователя	Формирует шину из сигналов различных типов.

## **3.2. РАБОТА 2. Моделирование одноконтурной САР. Задачи регулирования. Расчет параметров настроек. Оценка качества процесса регулирования.**

### **3.2.1. Разработка структурной схемы моделирования замкнутой одноконтурной САР в среде Xcos.**

Одноконтурные САР можно представить в виде блок-схемы (рис. 2.1), состоящей из объекта регулирования, регулятора и элемента сравнения. Состояние объекта регулирования характеризуется текущим значением регулируемой величины  $x_{вых}(t)$ . Текущее значение сравнивается с заданным значением  $x_3(t)$  в элементе сравнения, в котором вырабатывается рассогласование  $\Delta x(t)$ , являющейся ошибкой регулирования. Сигнал рассогласования преобразуется в соответствии с выбранным законом регулирования в регуляторе в регулирующее воздействие  $u(t)$ , которое поступает на объект. Свойства САР определяются свойствами ее отдельных элементов.[3]

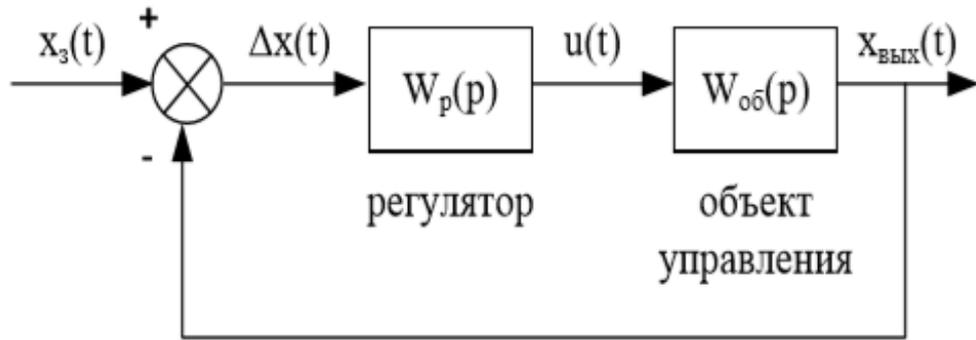


Рис.2.1. Блок схема одноконтурной САР.

В рамках данной работы рассмотрим разработку одноконтурной САР, где объект управления описывается инерционным звеном первого порядка с звеном запаздывания.

В соответствии с блок-схемой одноконтурной САР в Xcos составляется модель из блоков: Step\_Function, Summation, PID, CLR, Time\_Delay, CScope, Clock\_c (рис.2.2).

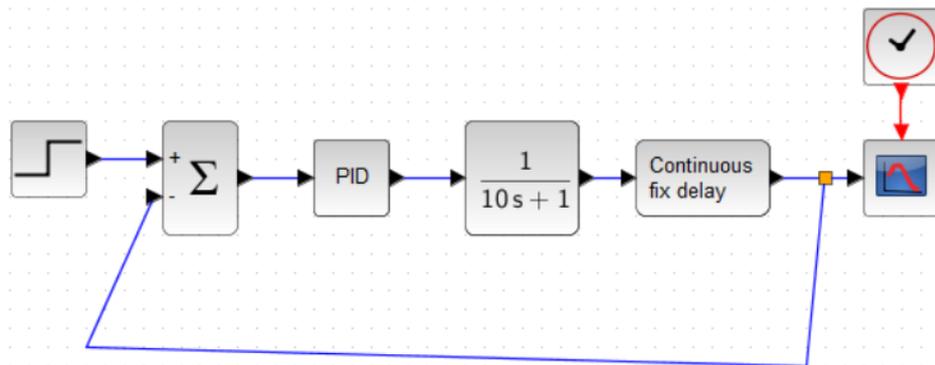


Рис.2.2. Модель одноконтурной САР

«Step\_Function» находится в палитре «Источники сигналов и воздействий» и является функцией включения. В более простом использовании этот блок выводит сигнал шага между двумя определяемыми уровнями «Начальное значение» и «Конечное значение», начинающиеся в указанное «Время единичного скачка».

«Summation» находится в палитре «Математические операции» и является блоком суммирования/вычитания. Этот блок выполняет сложение или вычитание на скалярных, векторных или матричных входах. Тип входных данных устанавливается с помощью параметра «Datatype». «Number of inputs or sign vector» определяет количество входов и эксплуатации. Для ввода

одного вектора блок сворачивает элементы вектора. Входы векторов / матриц должны иметь одинаковый размер.

«PID» находится в палитре «Системы с непрерывным временем» и реализует PID-регулятор. Расчет PID-регулятора вызывает три отдельных параметра: «Proportional», «Integral» и «Derivation». Коэффициент Proportional определяет реакцию на текущую ошибку, Integral - определяет реакцию на сумму последних ошибок, а Derivation определяет реакцию на скорость, с которой ошибка изменяется. Взвешенная сумма этих трех параметров используется для регулировки процесса через управляющий элемент, такой как положение регулирующего клапана или источник питания для нагревательного элемента.

«CLR» находится в палитре «Системы с непрерывным временем» блок реализует линейную систему SISO (single-input и single-output), представленную ее рациональной передаточной функцией Numerator/Denominator. Рациональная функция должна быть правильной (степень знаменателя должна быть меньше или равна степени числителя).

«TIME\_DELAY» задерживает ввод на указанное количество времени. Может использоваться для имитации задержки. В начале симуляции блок выводит исходный входной параметр до тех пор, пока время симуляции не превысит параметр Time delay, когда блок начинает генерировать задержанный вход.

Параметр Time delay должен быть неотрицательным.

«CSCOPE» (осциллограф) находится в палитре «Регистрирующие устройства» и используется для графического отображения сигнала как функции времени. Этот блок имеет один вход и отображает один или множество сигналов в единой системе координат. Скаляр (число) на входе осциллографа CSCOPE отображается как единственный сигнал, вектор — как множество сигналов. Область действия позволяет регулировать количество времени и диапазон отображаемых входных значений.

«CLOCK\_c» – часы активации. Устанавливается шаг работы и время начала работы. Палитра «Источники сигналов и воздействий».

### **3.2.2. Определение настроек ПИ-регулятора по эмпирическим зависимостям**

Для выбора и расчета оптимальных настроек промышленных регуляторов существуют различные подходы и методы. Для определения коэффициентов пропорциональных и интегральной составляющих ПИ-регулятора используются формулы (1.1), (1.2):

$$P = K_p \tag{1.1}$$

$$I = \frac{K_p}{T_u} \quad (1.2)$$

где P, I – коэффициенты при пропорциональной и интегральной составляющей ПИ-регулятора (блока PID Controller).

По известным данным ( $K_{об} = 1$ ,  $T_{об} = 10$ ,  $\tau_{об} = 3,5$ ) рассчитываем Коэффициент усиления ( $K_p$ ) и Время изодрома ( $T_u$ ):

$$K_p = \frac{0,9 * T_{об}}{K_{об} * \tau_{об}} = \frac{0,9 * 10}{1 * 3,5} = 2,57$$

$$T_u = 3,33 * \tau_{об} = 3,33 * 3,5 = 11,66$$

Таким образом, получаем следующие значения для нашего ПИ-регулятора:

$$P = K_p = 2,57$$

$$I = \frac{K_p}{T_u} = \frac{2,57}{11,66} = 0,22$$

### 3.2.3. Моделирование одноконтурной САР с ПИ-регулятором.

Настраиваем блок PID в соответствии с найденными коэффициентами ПИ-регулятора. Для этого в поля диалогового окна параметров функционального блока PID вносим значения P и I. Так как в ПИ-регуляторе коэффициент D не учитывается, в соответствующее ему поле вносим «0» (рис.2.3).

Диалоговое окно открывается при двойном нажатии ЛКМ по настраиваемому блоку или через «параметры блока» (находится в всплывающем меню при нажатии по блоку ПКМ).

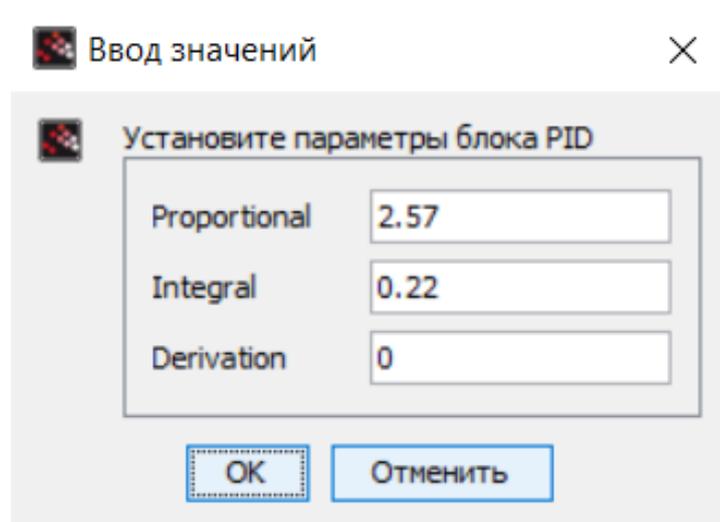


Рис.2.3. Настройка коэффициентов ПИ-регулятора.

Далее настраиваем другие параметры САР:

1) В функциональном блоке Step\_Function задаем Время единичного скачка – 0, Начальное значение – 0 и Final Value (Конечное значение) – 20(рис.2.4.).

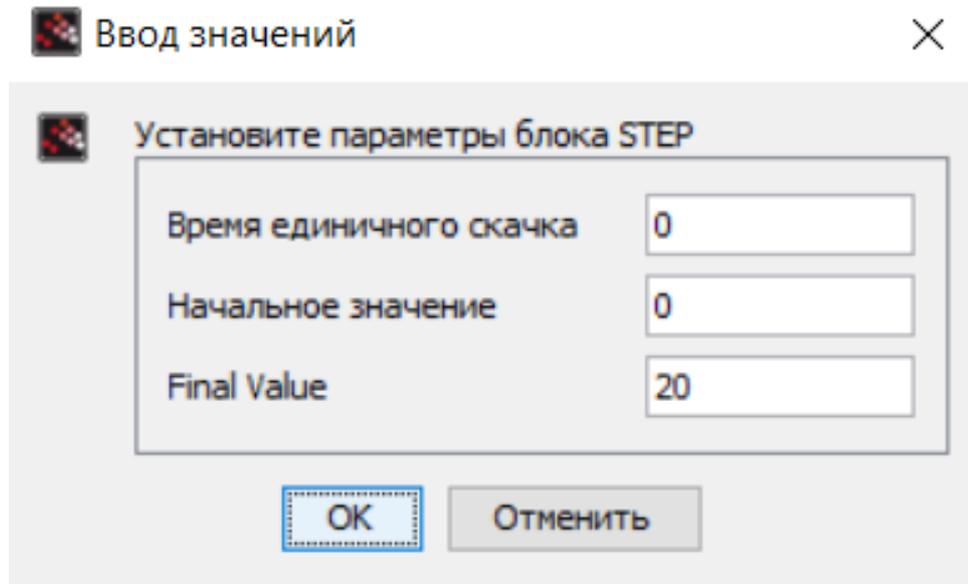


Рис.2.4. Окно настройки блока Step\_Function.

2) В блоке Time\_Delay устанавливаем параметр Delay (Задержка) равный 3,5 (рис.2.5.).

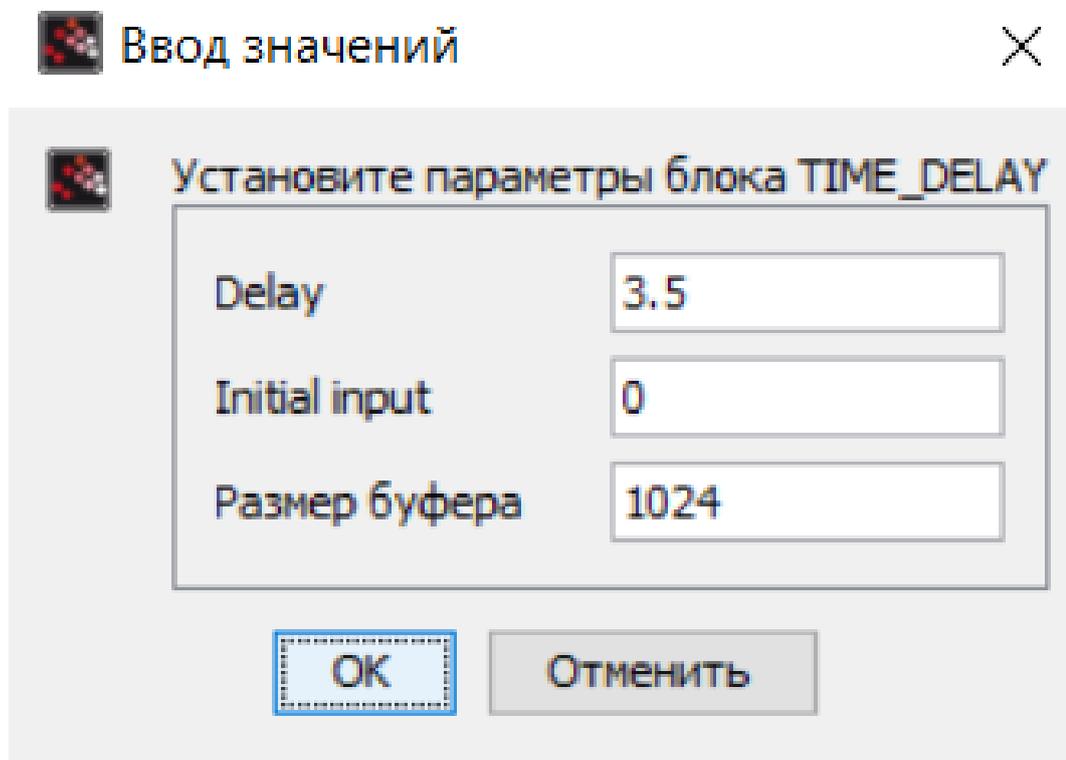


Рис.2.5.Настройка параметров блока Time\_Delay.

3) Для того чтобы получить наглядный график изменим параметры блока CScope, а именно  $Y_{min} = -5$ ,  $Y_{max} = 50$ , Refresh period = 50. Данные параметры при необходимости можно изменить непосредственно в графическом окне. Таким образом, отображаемый график по оси  $Y$  будет иметь диапазон  $[-5;50]$ , а по оси  $t$  -  $[0;50]$  (рис.2.6).

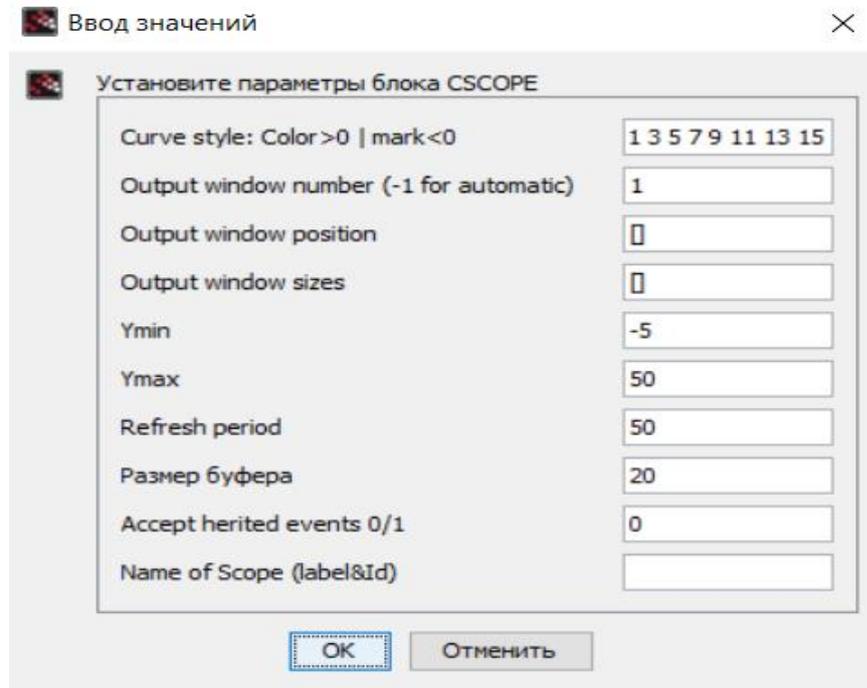


Рис.2.6. Настройка блока CScope.

4) Параметры моделирования задаются в окне «Параметры моделирования», а для того, чтобы в него попасть нужно пойти следующим путем: *Моделирование – Установка*. В данном окне настраиваем Конечное время интегрирования – 50, Максимальный размер шага – 0,1 и Вид программы решения – DOPRI5 (рис.2.7.).

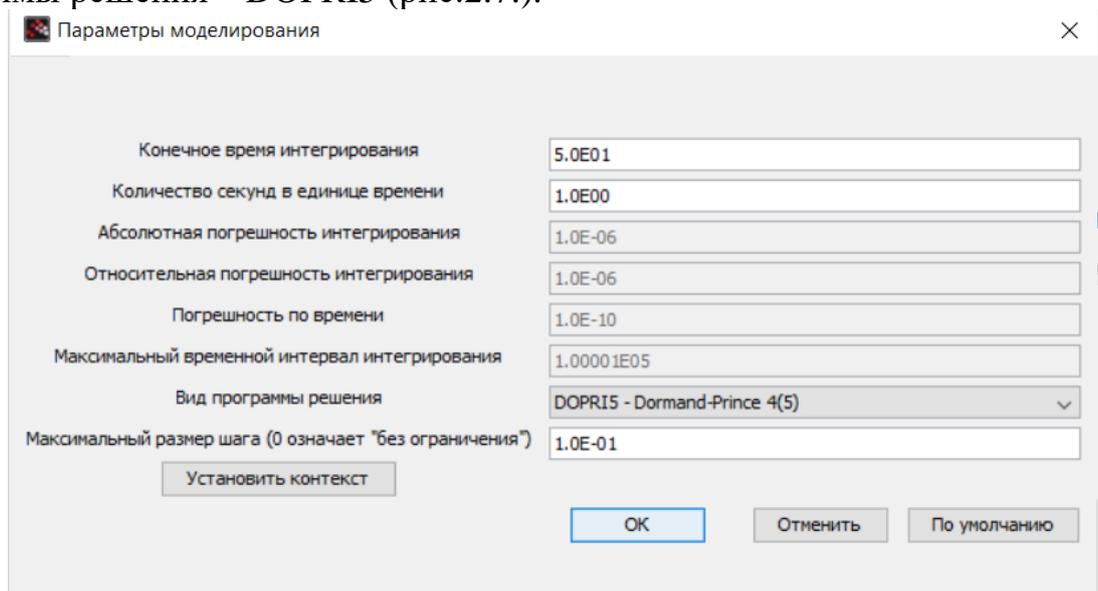


Рис.2.7. Параметры моделирования.

После всех внесенных изменений запускаем САР на выполнение и получаем следующий график в Графическом окне (рис.2.8):

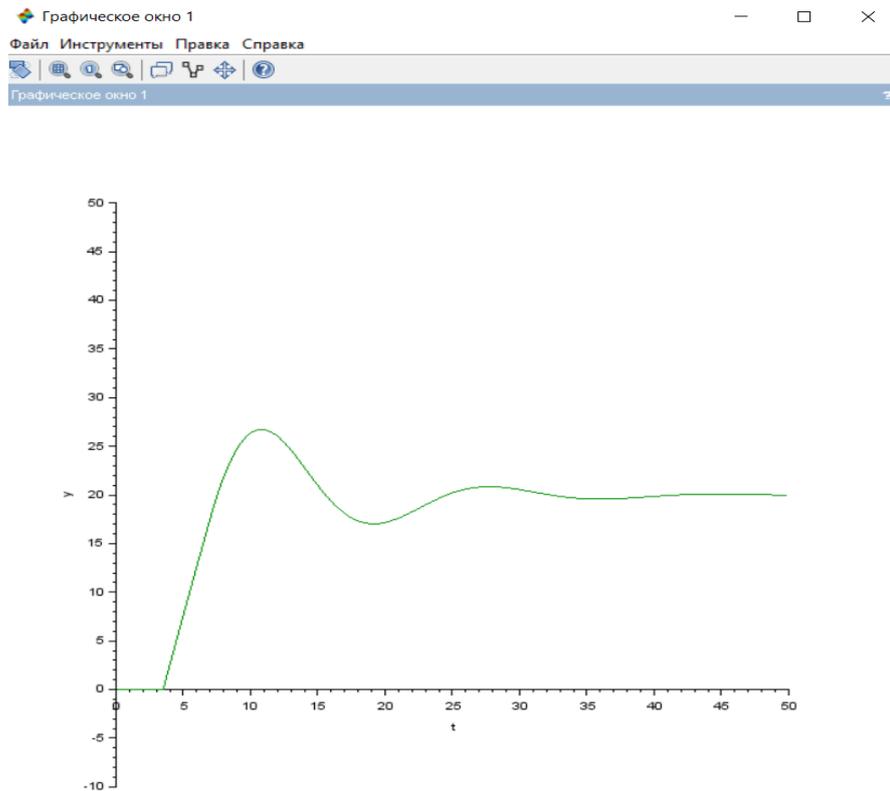


Рис.2.8. График переходного процесса одноконтурной САР с ПИ-регулятором.

### 3.2.4. Определение настроек ПИД-регулятора по эмпирическим зависимостям

Для ПИД-регуляторов определение коэффициентов при пропорциональной, интегральной и дифференциальных составляющих используются формулы (1.3), (1.4), (1.5):

$$K_p = \frac{1,2}{K_{об}} * \frac{T}{\tau_{об}} = \frac{1,2 * 10}{1 * 3,5} = 3,42,$$

$$T_u = 2 * \tau_{об} = 2 * 3,5 = 7,$$

$$T_n = 0,5 * T_{об} = 0,5 * 3,5 = 1,75.$$

$$P = K_p = 3,42, \tag{1.3}$$

$$I = \frac{K_p}{T_u} = \frac{3,42}{7} = 0,49, \tag{1.4}$$

$$D = K_p * T_n = 3,42 * 1,75 = 5,99. \tag{1.5}$$

### 3.2.5. Моделирование одноконтурной САР с ПИД-регулятором

Заполним диалоговое окно блока PID в соответствии с полученными коэффициентами (рис.2.9):

Parameter	Value
Proportional	3.42
Integral	0.49
Derivation	5.99

Рис.2.9. Коэффициенты ПИД-регулятора.

Другие настройки CAP:

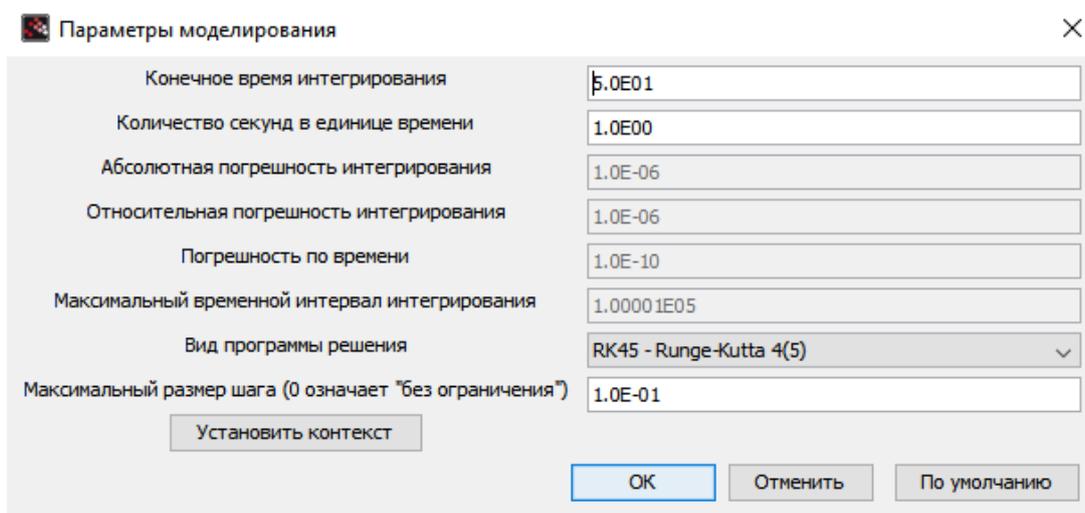
Для блоков Step и Time\_Delay оставляем прежние значения.

Для блока CSCOPE устанавливаем значения  $Y_{min} = 0$ ,  $Y_{max} = 40$ , Refresh period = 60 (рис.2.10).

Parameter	Value
Curve style: Color>0   mark<0	1 3 5 7 9 11 13 15
Output window number (-1 for automatic)	-1
Output window position	[]
Output window sizes	[600;400]
Ymin	0
Ymax	40
Refresh period	60
Размер буфера	20
Accept herited events 0/1	0
Name of Scope (label&Id)	

Рис.2.10. Настройки блока CScope.

Параметры моделирования для ПИД-регулятора представлены на рисунке 2.11:



Параметр	Значение
Конечное время интегрирования	5.0E01
Количество секунд в единице времени	1.0E00
Абсолютная погрешность интегрирования	1.0E-06
Относительная погрешность интегрирования	1.0E-06
Погрешность по времени	1.0E-10
Максимальный временной интервал интегрирования	1.00001E05
Вид программы решения	RK45 - Runge-Kutta 4(5)
Максимальный размер шага (0 означает "без ограничения")	1.0E-01

Кнопки: Установить контекст, ОК, Отменить, По умолчанию

Рис.2.11. Параметры моделирования.

После запуска выполнения модели с ПИД-регулятором получаем график, представленный на рисунке 2.12:

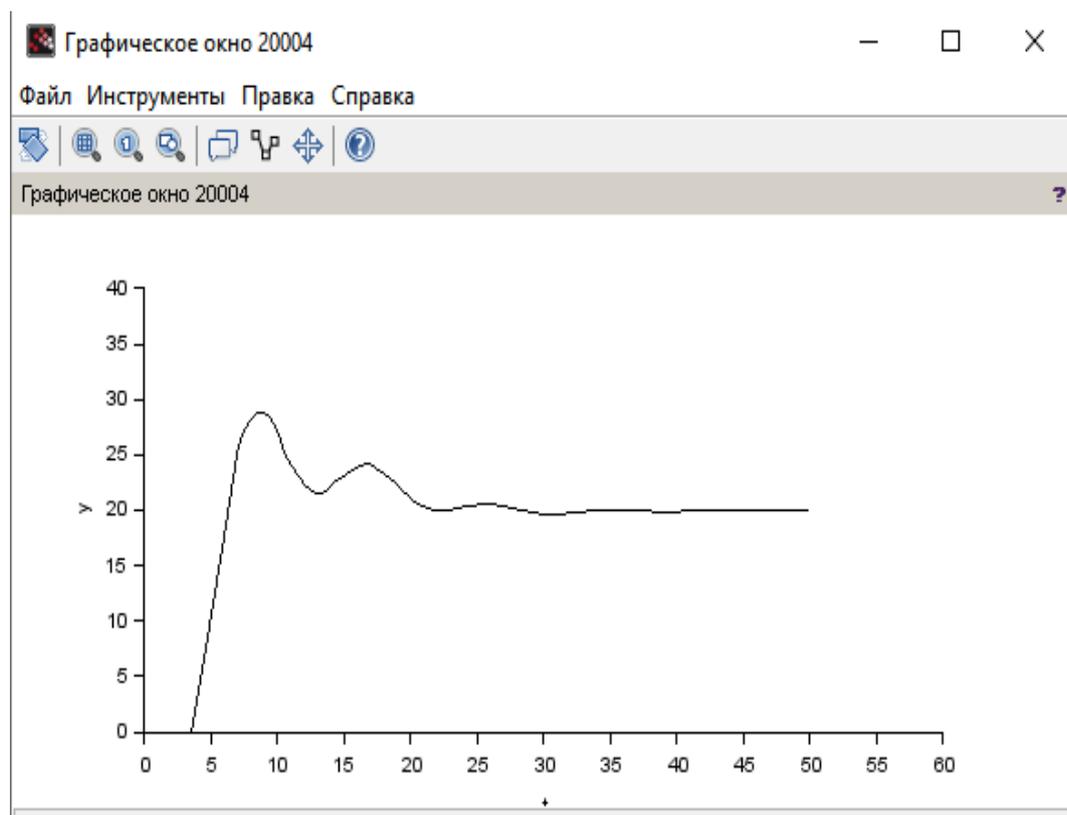


Рис.2.12. График переходного процесса одноконтурной САР с ПИД-регулятором.

## 5. Библиографический список

1. Scilab: Решение инженерных и математических задач / Е. Р. Алексеев, О. В. Чеснокова, Е. А. Рудченко— М.: ALT Linux; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 260с.
2. Решение инженерных задач в среде Scilab. Учебное пособие. / А.Б. Андриевский, Б.Р. Андриевский, А.А. Капитонов, А.Л. Фрадков — СПб.: НИУ ИТМО, 2013. — 97 с.
3. Моделирование систем автоматического управления с использованием программной среды MATLAB/Simulink. Лабораторный практикум: учеб. пособие / П. Г. Михайлова, А. Ф. Егоров. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2016. – 76 с.